

# Vliv znečištění vrchní vrstvy na prostup tepla materiálem zásahového oděvu pro hasiče

## Effects of Contamination of Upper Layer of Firefighting Suit on the Heat Transfer through the Material

Ing. Eva Strakošová

prof. Dr. Ing. Aleš Dudáček

VŠB - TU Ostrava, Fakulta bezpečnostního inženýrství  
Lumírova 13, 700 30 Ostrava - Výškovice  
ales.dudacek@vsb.cz

### Abstrakt

Ochranné oděvy pro hasiče jsou navrženy tak, aby co nejvíce chránily hasiče před účinky plamene a sálavého tepla. Současné normované zkušební metody nepokrývají některé specifické případy, jakým může být vliv znečištění vrchní vrstvy zásahového oděvu na prostup tepla materiálem. Testovány byly zásahové oděvy Tiger Plus, Premium 20 a GoodPRO FR3 Firehorse. Tento článek popisuje výsledky laboratorních testů, které umožňují lepší pochopení tohoto rizika. Materiály zásahových oděvů byly testovány dle normových požadavků na ochranné oděvy metodou hodnocení materiálů vystavených sálavému teplu dle ČSN EN ISO 6942, metodou stanovení prostupu tepla při vystavení účinků plamene dle normy ČSN EN 367 a metodou pro stanovení prostupu tepla ochranným oděvem nebo jeho materiály při dotyku dle ČSN EN 702. Významnou roli při vyhodnocování výsledků hrála tloušťka jednotlivých vrstev materiálu.

### Klíčová slova

Zásahový oděv; znečištění oděvu; sálavé teplo; hustota tepelného toku; požární zkoušky; prostup tepla.

### Abstract

Protective clothing for firefighters are designed to maximize protect firefighters from the effects of flame and radiant heat. Current test methods do not cover some specific cases, which may affect the response of pollution upper layers of firefighting suit on the heat transfer through the material. They were tested firefighting suits Tiger Plus, Premium 20 a GoodPRO FR3 Firehorse. This article describes the results of laboratory tests that allow a better understanding of the risks. Materials of firefighting suit were tested according to standard requirements for protective clothing method for evaluating materials exposed to radiant heat according to ČSN EN ISO 6942, a method of determining heat transmission on exposure to flame according to ČSN EN 367 and method for determining heat transmission through protective clothing or its materials when touched according to ČSN EN 702. The thickness of layers of firefighting suit is consideration in evaluating the results.

### Keywords

Firefighting suit; contamination of clothing; radiant heat; heat flow density; fire tests; heat transmission.

### 1 Úvod

Mezi nejčastější poranění hasičů patří popáleniny. A to i přes pokrok ve vývoji materiálů zásahových oděvů poskytující lepší tepelnou izolaci. Především na vrchní vrstvu zásahového oděvu jsou kladeny vysoké požadavky. Zkoušky ochranných oděvů pro hasiče podle ČSN EN ISO 6942 požaduje též NV č. 21/2003 Sb. [9] v souladu se směrnicí č. 89/686/EHS [10]. Znečištění vrchní vrstvy, vystavení materiálu zásahového oděvu tepelné expozici

a porovnání vzorků zásahových oděvů je hlavním cílem tohoto příspěvku.

Příspěvek je součástí experimentálního výzkumu s názvem Parametry prostředí komory č. 3 a schodiště v prostorách výcvikového zařízení pro hasiče na plynná paliva ve vztahu k bezpečnému pobytu v podmínkách simulace požáru v uzavřeném prostoru. Výsledky vypovídají o vlastnostech jednotlivých materiálů zásahových oděvů vzhledem k jejich praktickému využití.

### 2 Materiály

Laboratorní testy byly na základě existující smlouvy o spolupráci provedeny při stáži v laboratořích Technického ústavu požární ochrany (dále jen TÚPO) v Praze.

Měřeny byly celkem tři druhy zásahového oděvu a to od společnosti DEVA F-M, s.r.o., Frýdek - Místek [1] a od společnosti VOCHOC, s.r.o., Plzeň [2]. Skladba jednotlivých vrstev zásahového oděvu odpovídala vždy pořadí používané v praxi.

Jelikož jsou nejvyšší nároky kladeny právě na vrchní vrstvu zásahového oděvu, byly jednotlivé vzorky pojmenované vždy po vrchní vrstvě. Testované vzorky byly vybrány z důvodu častého využití u HZS ČR [3] a zároveň byly také využity při sérii testů [4] ve flashover kontejneru ve Zbirohu v červnu 2012, říjnu 2013 a červnu 2014. V tabulce 1 je uvedeno složení jednotlivých vrstev zásahových oděvů, které se liší jak použitými materiály, tak plošnou hmotností.

Tab. 1 Složení jednotlivých vrstev zásahového oděvu a jejich gramáže

Druh oděvu	Vrchní vrstva	Vlhkostní bariéra	Tepelná bariéra
TIGER Plus (DEVA F-M)	NOMEX DIAMOND Ultra - SOFIGUARD, 210 g/m <sup>2</sup>	GORE-TEX® Fireblocker N, 140 g/m <sup>2</sup>	NOMEX® Comfort Grid 200 g/m <sup>2</sup> - SOFIDRY®
GoodPRO FR3 FireHorse (VOCHOC)	53 % KERMEL, 39 % Len-zing FR, 6 % Technora, 2 % uhlíková vlákna, vazba RipStop, 230 g/m <sup>2</sup>	PU membrána TOPAZ nalaminovaná na úpletu Interlock, 140 g/m <sup>2</sup>	50 % Aramid, 50 % Lenzing FR, pro-šev,gramáž, 250 g/m <sup>2</sup>
Premium 20 (DEVA F-M)	DIAMOND FORCE - SOFIGUARD, 245 g/m <sup>2</sup>	Membrána CROSSTECH®, 135 g/m <sup>2</sup>	ISO' AIR®, 190 g/m <sup>2</sup> - SOFIDRY®

### 3 Experimentální část

#### 3.1 Příprava měření

Zkušební vzorky byly klimatizovány 24 hodin před měřením v klimatizační komoře při teplotě vzduchu 20 °C a relativní vlhkosti vzduchu 65 %.

Před měřeními byly vždy zaznamenávány vnější podmínky měření. Teplota v laboratoři v TÚPO Praha se udržovala na hodnotě 23 ± 4 °C a vlhkost vzduchu se pohybovala v rozmezí 45 - 54 %.

Před měřeními byly nastříhány vzorky o rozměrech odpovídající jednotlivým normám. Pro normu ČSN EN ISO 6942 jsou rozměry zkušebních [5] vzorků 230 x 80 mm, pro normu ČSN EN 367 [6] pak 140 x 140 mm a pro normu ČSN EN 702 jsou průměry vzorků 80 mm.

Byly vybrány dva zdroje znečištění, se kterými se hasiči mohou setkat při zásahu, v našem případě se jednalo o olej a mazací tuk. Carlson® Super GX Benzin SAE 15W-40 je celoroční motorový olej určený k mazání benzinových a nepřehřívovaných nebo níže přehřívovaných naftových motorů osobních a lehkých nákladních automobilů a jako mazací tuk bylo zvoleno plastické vápenité mazivo Mogul A4 od firmy Paramo s krátkovláknitou strukturou, střední až hutné konzistence, které dobře odolává vlivům vody a je vhodné zejména k mazání kluzných i valivých ložisek pracujících za normálních tlaků. Tyto druhy znečištění byly využity při měřeních pro stanovení kyslíkového čísla a při termické analýze. Znečištění [4] bylo provedeno běžně používaným celoročním motorovým olejem, který textilií prosákne a mazacím tukem A4 (plastické mazivo k mazání kluzných i valivých ložisek), který je tužší a zůstává na povrchu. Olej byl aplikován pomocí rozprašovače na materiál (s použitím hexanu). Mazací tuk byl nanášen pomocí špachtle bez použití rozpouštědla. Hmotnosti nanášených tuků jsou uvedeny v tabulkách 2, 3 a 4. Snahou bylo, aby plošná hmotnost tuků pro jednotlivé textilie byla stejná. Nanášený tuk v tabulce znamená, kolik procent z celkové hmotnosti zaujímá právě nanášený tuk.

Tab. 2 Hmotnosti vzorků s tuky pro ČSN EN ISO 6942

Nanášený tuk	NOMEX DIAMOND Ultra		KERMEL/LENZING FR/TECHNORA		DIAMOND FORCE	
	čistý vzorek [g]	nanášený tuk [%]	čistý vzorek [g]	nanášený tuk [%]	čistý vzorek [g]	nanášený tuk [%]
olej	10,34	10,54	10,86	13,15	12,32	13,53
a4		13,34		12,58		16,39

Tab. 3 Hmotnosti vzorků s tuky pro ČSN EN 367

Nanášený tuk	NOMEX DIAMOND Ultra		KERMEL/LENZING FR/TECHNORA		DIAMOND FORCE	
	čistý vzorek [g]	nanášený tuk [%]	čistý vzorek [g]	nanášený tuk [%]	čistý vzorek [g]	nanášený tuk [%]
olej	10,99	10,73	13,02	12,82	11,49	18,45
a4		14,01		13,13		16,10

Tab. 4 Hmotnosti vzorků s tuky pro ČSN EN 702

Nanášený tuk	NOMEX DIAMOND Ultra		KERMEL/LENZING FR/TECHNORA		DIAMOND FORCE	
	čistý vzorek [g]	nanášený tuk [%]	čistý vzorek [g]	nanášený tuk [%]	čistý vzorek [g]	nanášený tuk [%]
olej	3,08	4,55	3,38	7,69	3,08	6,17
a4		13,31		12,72		13,64

### 3.2 Postup měření

Laboratorní měření probíhalo na přístrojích pro hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu dle normy ČSN EN ISO 6942, pro stanovení prostupu tepla při vystavení účinku plamene dle normy ČSN EN 367 a pro stanovení prostupu tepla ochranným oděvem nebo jeho materiály při dotyku dle normy ČSN EN 702. Přístroje jsou zobrazeny na obr. 1.

Dle zkušební metody pro hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu se zkušební vzorek připevnil k postranici držáku zkušebního vzorku a byl přidržován v dotyku s přední plochou kalorimetru působením síly 2 N pomocí závaží. Po provedení přípravných opatření při využití vzdáleností  $d$ , pomocí které se dosáhne požadované hustoty dopadajícího tepelného toku  $Q_0$ , se pohyblivá clona vytáhne a zaznamená se počáteční bod sálání. Pohyblivá clona se opět uzavře po dosažení nárůstu teploty o  $30^\circ\text{C}$ . Stanoví se čas  $t_{12}$ , který je potřebný k dosažení nárůstu teploty o  $(12 \pm 0,1)^\circ\text{C}$  a čas  $t_{24}$ , který je potřebný k dosažení nárůstu teploty o  $(24 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ . Zkouška se opakuje na zbývajících zkušebních vzorcích. Procentní součinitel prostupu tepla se spočítá z údajů

o nárůstu teploty [5]. Součinitel prostupu tepla, čas  $t_{12}$  a  $t_{24}$  umožňuje určit chování materiálu. Dle ČSN EN ISO 6942 se vypočte hustota dopadajícího tepelného toku  $Q_c$  v  $\text{kW}\cdot\text{m}^{-2}$ , součinitel prostupu tepla (heat transmission factor)  $TF (Q_0)$  v % pro hustotu dopadajícího tepelného toku  $Q_0$ . Index přestupu sálavého tepla (Radiant Heat Transfer Index)  $RHTI (Q_0)$  pro úroveň hustoty dopadajícího tepelného toku  $Q_0$  se stanoví pro nárůst teploty kalorimetru o  $(24 \pm 0,2)^\circ\text{C}$  jako průměr času  $t_{24}$  [5]. Materiály byly zkoušeny při středních hodnotách tepelného toku 20 a  $40 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ .



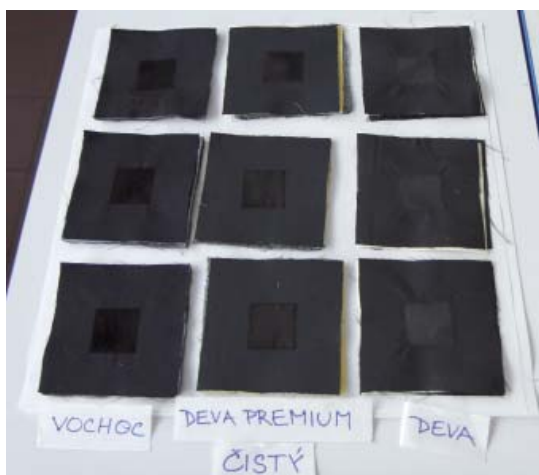
Obr. 1 Přístroje pro hodnocení materiálů vystavených sálavému teplu (vlevo) a pro stanovení prostupu tepla při vystavení účinku plamene (uprostřed) a pro stanovení prostupu tepla ochranným oděvem nebo jeho materiály při dotyku (vpravo)

Druhou použitou metodou byla ČSN EN 367 metoda stanovení prostupu tepla při vystavení účinku plamene. Rám na uložení vzorku se upevnil na stojan tak, aby jeho horní plocha, na které je vzorek umístěn, byla 50 mm nad horní plochou hořáku. Hořák umístěný stranou zařízení byl zapálen, nastavil se přívod plynu a vyčkal se, než se plamen ustálil. Nejprve byla vnější vrstva [6] zkušebního vzorku položena lícni stranou na rám pro uložení vzorku, poté byly vrstvy ukládány postupně v pořadí a orientaci tak, jak se používají v sestavě. Navrch vzorku byla položena ustavovací deska kalorimetru. Hořák se rychle a opatrně přesunul pod upevněný zkušební vzorek. Ihned se otevřela clona zakrývající spodní část vzorku. Zkouška pokračovala, dokud se teplota nezvýšila o  $(24 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ . Poté byl hořák posunut mimo vzorek, kalorimetr se vyjmul a ochladil na teplotu okolí  $\pm 2^\circ\text{C}$  proudem tlakového vzduchu. Celý proces se opakoval s dalšími dvěma vzorky. Výsledkem je index prostupu tepla (Heat transmission index) HTI vypočítaný jako průměr časů potřebných ke zvýšení teploty o  $(24 \pm 0,2)^\circ\text{C}$ . Pro potřeby měření byl materiál zkoušen při hustotě tepelného toku  $20 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$  a  $40 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ . Palivem pro hořák byl propan-butan.

Poslední zkušební metodou byl stanovován průstup tepla oděvem při dotyku. Nejprve se vytápěný válec zahrál na dotykovou teplotu, v našem případě na hodnotu  $250^\circ\text{C}$ , poté  $500^\circ\text{C}$ . Zkušební vzorek [7] byl položen na kalorimetr tak, že jeho vnější strana směřovala směrem nahoru. Clona mezi vytápěným válcem a kalorimetrem byla vyjmuta a vytápěný válec se konstantní rychlostí přiblížil i se

vzorkem ke kalorimetru, aby došlo k dotyku. Během zkoušky byla měřena a zaznamenávána teplota kalorimetru. Výsledkem je limitní čas  $t_l$ , což je čas mezi začátkem měření a okamžikem, kdy teplota kalorimetru je o 10 °C vyšší než jeho počáteční teplota.

Zkoušeny byly vždy tři vzorky z každého materiálu a s různým druhem znečištění, viz obr. 2.



Obr. 2 Ukázka série čistých vzorků při působení plamene o výkonu hořáku 40 kW.m<sup>-2</sup>

### 3.3 Výsledky měření

Vzhledem k velkému počtu dat zde nejsou uvedeny jednotlivé hodnoty součinitele prostupu tepla TF ( $Q_0$ ) a jednotlivé hodnoty hustoty prostupujícího tepelného toku  $Q_c$ , ale pouze hodnoty průměrné pro každý materiál a jeho znečištění. Výsledky jsou uvedeny v tab. 5, 6 a 7.

Tab. 5 Součinitel prostupu tepla TF ( $Q_0$ ) [%] pro jednotlivé materiály při výkonu zdroje sálání 40 a 20 kW.m<sup>-2</sup>

Vzorek	40 kW.m <sup>-2</sup>			20 kW.m <sup>-2</sup>		
	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMELE/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMELE/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE
čistý	31,4	42,4	35,7	39,4	37,7	32,7
olej	30,5	37,7	32,4	41,9	37,7	33,7
a4	30,3	39,5	31,2	39,9	36,1	31,5

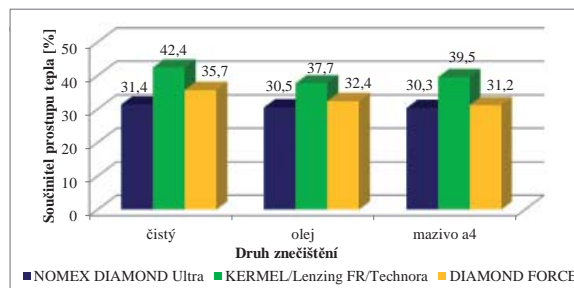
Tab. 6 Hustota dopadajícího tepelného toku  $Q_c$  [kW.m<sup>-2</sup>] pro vzorky při výkonu zdroje sálání 40 a 20 kW.m<sup>-2</sup>

Vzorek	40 kW.m <sup>-2</sup>			20 kW.m <sup>-2</sup>		
	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMELE/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMELE/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE
čistý	12,5	17,0	14,3	7,9	7,5	6,5
olej	12,2	15,0	13,0	8,4	7,5	6,7
a4	12,1	15,8	12,5	8,0	7,2	6,3

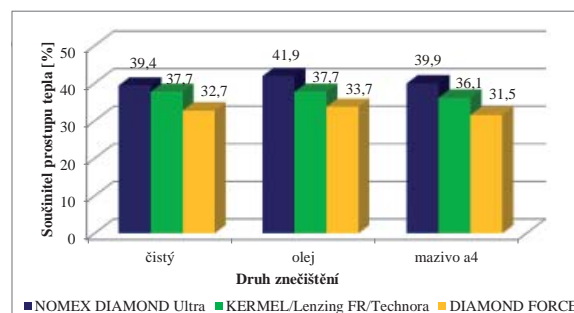
Tab. 7 Index přestupu sálavého tepla RHTI ( $Q_0$ ) [s] pro vzorky při výkonu zdroje sálání 40 a 20 kW.m<sup>-2</sup>

Vzorek	40 kW.m <sup>-2</sup>			20 kW.m <sup>-2</sup>		
	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMELE/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMELE/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE
čistý	17,2	17,3	18,7	25,4	31,0	32,6
olej	16,7	18,8	20,8	24,7	30,4	32,6
a4	17,1	18,6	20,9	25,8	31,3	34,0

Pro lepší porovnání jednotlivých materiálů součinitelem prostupu tepla TF [%] jsou výsledky znázorněny v grafech na obr. 3 a 4.



Obr. 3 Součinitel prostupu tepla TF pro jednotlivé materiály a jejich znečištění při výkonu zdroje sálání 40 kW.m<sup>-2</sup>



Obr. 4 Součinitel prostupu tepla TF pro jednotlivé materiály a jejich znečištění při výkonu zdroje sálání 20 kW.m<sup>-2</sup>

Významnou roli při tomto laboratorním testu hrála především tloušťka jednotlivých vrstev materiálu. Nejlépe rozpoznatelné je to u vzorku NOMEX DIAMOND Ultra, který má nejmenší tloušťku vrstev. V tomto případě není rozhodující hodnota výkonu sálavého zdroje, ale čas, který na vzorek působil. Tudiž při nižším výkonu, ale delším časovém intervalu prošlo přes vzorek více sálavého tepla než při vyšším výkonu zdroje sálání. Naopak je tomu u vzorku KERMELE/Lenzing FR/Technora, jehož celková tloušťka je největší ze zkoušených vzorků.

Tab. 8 Porovnání součinitele prostupu tepla [%] jednotlivých materiálů při 40 a 20 kW.m<sup>-2</sup>

Hustota tepel. toku [kW.m <sup>-2</sup> ]	NOMEX DIAMOND Ultra			KERMELE/Lenzing FR/Technora			DIAMOND FORCE		
	čistý	olej	A4	čistý	olej	A4	čistý	olej	A4
40	31,4	30,5	30,3	42,4	37,7	39,5	35,7	32,4	31,2
20	39,4	41,9	39,9	37,7	37,7	36,1	32,7	33,7	31,5

Výsledky laboratorního měření dle ČSN EN 367 pro stanovení prostupu tepla při vystavení účinku plamene jsou uvedeny v tab. 9 a 10 a jsou dány indexem prostupu tepla plamenem [s]. Jak již bylo zmíněno výše, index prostupu tepla se vypočítá jako průměr času potřebných ke zvýšení teploty o (24 ± 0,2) °C. Vzorky byly zkoušeny pouze při výkonu zdroje sálání 20 kW.m<sup>-2</sup> a 40 kW.m<sup>-2</sup>.

Tab. 9 Index prostupu tepla plamene jednotlivých materiálů při 20 kW.m<sup>-2</sup>

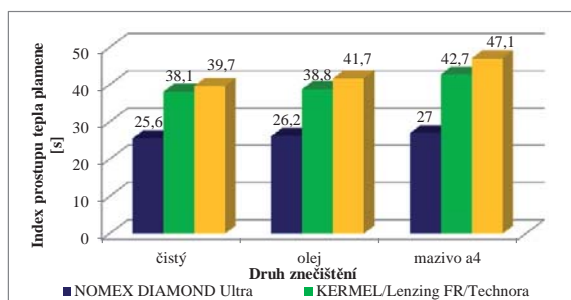
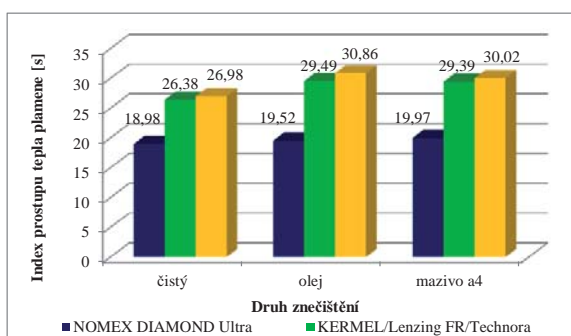
Vzorek	20 kW.m <sup>-2</sup>		
	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMELE/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE
čistý	25,6	38,1	39,7
olej	26,2	38,8	41,7
mazivo a4	27,0	42,7	47,1



Tab. 10 Index prostupu tepla plamene jednotlivých materiálů při 40 kW.m<sup>-2</sup>

Vzorek	40 kW.m <sup>-2</sup>		
	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMEL/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE
čistý	18,98	26,38	26,98
olej	19,52	29,49	30,86
mazivo a4	19,97	29,39	30,02

Výsledky jsou přehledně znázorněny v grafech na obr. 5 a 6 pro lepší porovnání jednotlivých materiálů.

Obr. 5 Index prostupu tepla plamene jednotlivých materiálů při 20 kW.m<sup>-2</sup>Obr. 6 Index prostupu tepla plamene jednotlivých materiálů při 40 kW.m<sup>-2</sup>

Poslední provedeným měřením byla zkušební metoda pro stanovení prostupu tepla ochranným oděvem při dotyku. Měřeno bylo při dotkových teplotách 250 °C a 500 °C. Výsledky zkoušky jsou uvedeny v tab. 11 a 12.

Tab. 11 Limitní čas  $t_l$  250 °C

Vzorek	250 °C		
	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMEL/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE
čistý	12,31	14,70	17,29
olej	11,56	14,08	16,61
mazivo a4	11,04	13,98	15,64

Tab. 12 Limitní čas  $t_l$  500 °C

Vzorek	500 °C		
	NOMEX DIAMOND Ultra	KERMEL/Lenzing FR/Technora	DIAMOND FORCE
čistý	5,90	8,86	6,67
olej	6,01	8,01	6,47
mazivo a4	5,64	6,34	6,73

## Diskuze

Výsledky popisují vlastnosti jednotlivých látek v reakci na laboratorní testy. Velkou roli při vyhodnocování výsledků v tomto případě hrálo, zda je materiál zásahového oděvu vystaven nízké intenzitě sálání po dlouhou dobu, nebo vysoké intenzitě po krátkou dobu [8]. Hasiči při zásahu se běžně setkávají s oběma případy.

Při vyšší hodnotě hustoty tepelného toku 40 kW.m<sup>-2</sup> vykazují z čistých vzorků nejlepší vlastnosti vzorek NOMEX DIAMOND Ultra, jehož součinitel prostupu tepla je pouze 31,4 %, a tudíž materiálem prostoupí nejméně tepla ze všech měřených vzorků. Zatímco u vzorku DIAMOND FORCE je součinitel prostupu tepla 35,7 % a vzorku KERMEL/Lenzing FR/Technora dokonce 42,4 %. Hustota prostupujícího toku je tedy nejvyšší u vzorku KERMEL/Lenzing FR/Technora a činí 17 kW.m<sup>-2</sup>, viz tab. 6. Pokud je vzorek znečištěn olejem nebo mazivem, chová se toto znečištění po určitou krátkou dobu jako ochranná vrstva a zabraňuje prostupu sálavého tepla skrz vzorek. Proto jsou součinitele prostupu tepla výrazně nižší než u vzorku čistého, jak vidíme v grafech na obr. 3. Součinitel prostupu tepla vzorku NOMEX DIAMOND Ultra znečištěného olejem je 30,5 %, u vzorku DIAMOND FORCE 32,4 %. Největší rozdíl mezi čistým a znečištěným olejem je u vzorku KERMEL/Lenzing FR/Technora, kdy hodnota součinitele prostupu tepla klesla o 16 % na 37,7 %. Hustota prostupujícího tepelného toku u vzorku NOMEX DIAMOND Ultra znečištěného olejem činí 12,2 kW.m<sup>-2</sup>, zatímco u KERMEL/Lenzing FR/Technora až 15 kW.m<sup>-2</sup>. U vzorku NOMEX DIAMOND Ultra znečištěného mazivem A4 je hodnota součinitele prostupu tepla ještě nižší než při znečištění olejem a dosahuje 30,3 %, podobně také DIAMOND FORCE s 31,2 %. Hodnota součinitele prostupu tepla vzorku KERMEL/Lenzing FR/Technora se rovná 39,5 % a hustota prostupujícího tepelného toku je 15,8 kW.m<sup>-2</sup>. Co se týče indexu přestupu tepla, nejlépe si vedl vzorek DIAMOND FORCE, a to jak čistý, tak také znečištěný, jeho výsledky jsou uvedeny v tab. 7.

Zcela jiná situace nastává při nižší hustotě tepelného toku 20 kW.m<sup>-2</sup>, kdy působí sálavé teplo po výrazně delší dobu, než tomu bylo při vyšší hodnotě tepelného toku. Nejlepší vlastnosti při této hustotě tepelného toku vykazují čistý vzorek DIAMOND FORCE, jehož součinitel prostupu tepla je 32,7 %, poté vzorek KERMEL/Lenzing FR/Technora 37,7 %. Nejhůře se choval vzorek NOMEX DIAMOND Ultra jehož součinitel prostupu tepla byl nejvyšší a rovná se 39,4 %, jak je znázorněno v grafu na obr. 4. Důvodem je právě tloušťka vzorku, která je vystavena po delší dobu sálavému teplu. Hustota prostupujícího tepelného toku je nejvyšší u vzorku NOMEX DIAMOND Ultra 7,9 kW.m<sup>-2</sup>, poté následuje KERMEL/Lenzing FR/Technora s 7,5 kW.m<sup>-2</sup>, jak je uvedeno v tab. 6. Při znečištění vzorků olejem a mazivem je součinitel prostupu tepla při hustotě tepelného toku 20 kW.m<sup>-2</sup> již přibližně stejný jako je tomu u čistých vzorků, což může být zapříčiněno delším časovým intervalem vystavení vzorku sálavému teplu. Součinitel prostupu tepla vzorku NOMEX DIAMOND Ultra znečištěného olejem je 41,4 %, u vzorku KERMEL/Lenzing FR/Technora 37,7 %. Nejlépe si vedl vzorek DIAMOND FORCE s 33,7 %, také jeho hustota prostupujícího tepla je nejnižší a rovná se 6,7 kW.m<sup>-2</sup>. Nejnižší hodnota součinitele prostupu tepla 31,5 % při znečištění mazivem A4 je u vzorku DIAMOND FORCE, poté následuje vzorek KERMEL/Lenzing FR/Technora s 36,1 %. Naopak nejhorší vlastnosti vykazoval vzorek NOMEX DIAMOND Ultra se součinitelem prostupu tepla 39,9 % a hustotou prostupujícího tepelného toku 8 kW.m<sup>-2</sup>. Také při hustotě tepelného toku zdroje sálání 20 kW.m<sup>-2</sup> si vedl nejlépe vzorek DIAMOND FORCE [8].

Z naměřených výsledků laboratorního měření dle ČSN EN 367 pro stanovení prostupu tepla při vystavení účinku plamene vyplývá, že významnou roli při vyhodnocování má tloušťka vrstev materiálů zásahových oděvů a vliv znečištění. Čistý vzorek vykazoval při hustotě tepelného toku 20 kW.m<sup>-2</sup> i 40 kW.m<sup>-2</sup> vždy lepší vlastnosti

než vzorek znečištěný. Z výsledků měření uvedených v tab. 9 a 10 jsou patrné rozdíly mezi jednotlivými vzorky zásahových oděvů. U vzorku DIAMOND FORCE jsou výsledky jednoznačně nejlepší. Index prostupu tepla plamene při hustotě tepelného toku  $20 \text{ kW.m}^{-2}$  u čistého vzorku se rovná 39,7 s, znečištěného olejem 41,7 s a znečištěného mazivem A4 je 47,1 s. Vzorek KERMEL/Lenzing FR/Technora má také dobré vlastnosti při působení plamene. Naopak nejhorší výsledky vykazuje vzorek NOMEX DIAMOND Ultra. Index prostupu tepla plamene čistého vzorku při této hustotě tepelného toku činí 25,6 s, znečištěného olejem 26,2 s a znečištěného mazivem A4 27,0 s. Při hustotě tepelného toku  $40 \text{ kW.m}^{-2}$  se index prostupu tepla plamenem značně snižuje. U čistého vzorku DIAMOND FORCE se při této hustotě tepelného toku snížil index prostupu tepla na 26,98 s. Ve skutečných podmínkách však nelze považovat index prostupu tepla za čas ochrany, který zásahový oděv poskytuje proti plameni. Intenzita plamene a vzduchové mezery mezi vrstvami oblečení nejsou stále a značně se liší od podmínek zkoušky stanovených normou.

Pro vyhodnocení měření dle ČSN EN 702 bylo důležité vyhodnotit jednotlivé limitní časy (čas mezi začátkem měření a okamžikem, kdy teplota kalorimetru je o  $10^\circ\text{C}$  vyšší než jeho počáteční teplota) vzorků ochranných oděvů, které jsou také určeny k ochraně proti vysokým dotykovým (kontaktním) teplotám. Měření bylo provedeno při teplotách  $250^\circ\text{C}$  a  $500^\circ\text{C}$ . Při  $250^\circ\text{C}$  si vedl nejlépe při testech vzorek DIAMOND FORCE a to jak vzorek čistý, tak také vzorky znečištěné. Při této teplotě byl také limitní čas u čistých vzorků vždy delší než u vzorků znečištěných. Při teplotě  $500^\circ\text{C}$  byl mezi čistými vzorky nejlepší vzorek KERMEL/Lenzing FR/Technora, což platí také pro znečištění olejem. Při znečištění mazivem A4 byly rozdíly limitních časů mezi jednotlivými vzorky poměrně malé, což může být opět způsobeno tím, že se znečištění mazivem po určité krátkou dobu chová jako ochranná vrstva.

## Závěr

Hasiči jsou v přímém kontaktu s prostředím v místě zásahu a jsou vystaveni přímému působení sálavého tepla, ale také účinkům plamene. Při vyhodnocování bylo důležité, zda materiál zásahového oděvu hasiče byl vystaven nízké intenzitě sálání po dlouhou dobu, nebo vysoké intenzitě po krátkou dobu. Vzorky zásahového oděvu byly zkoušeny metodou hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu a metodou stanovení prostupu tepla při vystavení účinku plamene. Významnou roli při vyhodnocování výsledků hrála také tloušťka jednotlivých vrstev materiálu. Co se týče nebezpečí popálení kůže, hodnoty HTI  $12^\circ$  a HTI  $24^\circ$  korelují s  $1^\circ$  stupněm a  $2^\circ$  stupněm popálení kůže.

Nejllepší vlastnosti vykazoval z čistých vzorků při vyšší hodnotě hustoty tepelného toku  $40 \text{ kW.m}^{-2}$  vzorek NOMEX DIAMOND Ultra, jehož součinitel prostupu tepla je pouze 31,4 %, zatímco u vzorku DIAMOND FORCE je 35,7 % a u vzorku KERMEL/Lenzing FR/Technora dokonce 42,4 %. Při nižší hustotě tepelného toku  $20 \text{ kW.m}^{-2}$  nastává zcela jiná situace, kdy působí sálavé teplo po výrazně delší dobu. Nejlepší vlastnosti při této hustotě tepelného toku vykazoval čistý vzorek DIAMOND FORCE, jehož součinitel prostupu tepla je 32,7 %, poté vzorek KERMEL/Lenzing FR/Technora 37,7 %. Nejhorší se choval vzorek NOMEX DIAMOND Ultra jehož součinitel prostupu tepla je nejvyšší a rovná se 39,4 %. Pokud byl vzorek znečištěn olejem nebo mazivem, chovalo se toto znečištění při hustotě tepelného toku sálavého zdroje  $40 \text{ kW.m}^{-2}$  po určitou krátkou dobu jako ochranná vrstva a zabraňovala prostupu sálavého tepla skrz vzorek. Proto jsou hodnoty součinitele prostupu tepla i hustoty prostupujícího tepelného toku nižší při znečištění vzorku. Při znečištění vzorků olejem a mazivem při hustotě tepelného toku sálavého zdroje  $20 \text{ kW.m}^{-2}$  je součinitel prostupu tepla přibližně stejný jako je tomu u čistých vzorků, což může být zapříčiněno delším časovým intervalem vystavení vzorku sálavému teplu. Nejlépe si vedl vzorek DIAMOND FORCE s 33,7 %, také jeho hustota prostupujícího tepla je nejnižší a rovná se  $6,7 \text{ kW.m}^{-2}$ .

Z výsledků laboratorního měření metodou stanovení prostupu tepla při vystavení účinku plamene vyplývá, že významnou roli při vyhodnocování má tloušťka vrstev materiálů zásahových oděvů a vliv znečištění. Čistý vzorek vykazoval při hustotě tepelného toku  $20 \text{ kW.m}^{-2}$  i  $40 \text{ kW.m}^{-2}$  vždy lepší vlastnosti než vzorek znečištěný. U všech vzorků DIAMOND FORCE při tomto laboratorním měření byly výsledky jednoznačně nejlepší. Ve skutečných podmínkách však nelze považovat index prostupu tepla za čas ochrany, který zásahový oděv poskytuje proti plameni.

Vyhodnocením limitních časů dle metody pro stanovení prostupu tepla dotykem bylo zjištěno, že při  $250^\circ\text{C}$  si vedl nejlépe při testech vzorek DIAMOND FORCE a to jak vzorek čistý, tak také vzorky znečištěné. Při této teplotě byl také limitní čas u čistých vzorků vždy delší než u vzorků znečištěných. Při teplotě  $500^\circ\text{C}$  byl mezi čistými vzorky nejlepší vzorek KERMEL/Lenzing FR/Technora, což platí také pro znečištění olejem. Nicméně právě u tohoto vzorku při této teplotě byly patrné největší změny struktury vrchní vrstvy zásahového oděvu.

## Poděkování

Poděkování patří především kolektivu zaměstnanců Technického ústavu požární ochrany v Praze. Především Ing. Ondřeji Suchému, Ph.D. za umožnění měření a Janu Karlovi za pomoc a rady při měření.

## Použitá literatura

- [1] DEVA F-M s.r.o. Sortiment. [online]. 2010 [cit. 2013-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.deva-fm.cz/sortiment.php>>.
- [2] VOCHOC s.r.o. Produkty. [online]. 2011 [cit. 2013-05-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.vochoc.cz/ochrana-proti-teplu/produkty.php>>.
- [3] Prokeš, O.: *Rozbor tepelné zátěže zásahového oděvu pro hasiče při výcviku*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2012. 63 s. Vedoucí práce Ing. Ladislav Jánošík.
- [4] Strakošová, E.; Dudáček, A.; Filipi, B.: *Tepelná degradace znečištěné vrchní vrstvy zásahového oděvu. Požární ochrana 2014*. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2014.
- [5] ČSN EN ISO 6942 Ochranné oděvy - Ochrana proti teplu a ohni - Zkušební metoda: hodnocení materiálu a kombinací materiálů vystavených sálavému teplu. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [6] ČSN EN 367 Ochranné oděvy - Ochrana proti teplu a ohni - Metoda stanovení prostupu tepla při vystavení účinku plamene. Praha: Český normalizační institut, 1995.
- [7] ČSN EN 702 Ochranné oděvy - Ochrana proti teplu a ohni - Zkušební metoda pro stanovení prostupu tepla ochranným oděvem nebo jeho materiály při dotyku. Praha: Český normalizační institut, 1996.
- [8] Strakošová, E.: Vliv opotřebení a degradace vybrané vrstvy zásahového oděvu hasiče na jeho vlastnosti významné z hlediska použitelnosti oděvu. In: *Bezpečnost, spolehlivost a rizika 2014*: XI. ročník mezinárodní konference mladých vědeckých pracovníků. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, p. 41, ISBN 978-80-7494-110-8.
- [9] Nařízení vlády č. 21/2003 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na osobní ochranné prostředky.
- [10] Směrnice Rady 89/686/EHS ze dne 21. prosince 1989 o sbližování právních předpisů členských států týkajících se osobních ochranných prostředků.